

**Белорусский государственный университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе



А.Л. Толстик

(подпись)

2015 г.

(дата утверждения)

Регистрационный № УД- 751 /уч.

## **ОПТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ АТОМОВ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности  
1-31 04 01 Физика (по направлениям)  
направления специальности 1-31 04 01-01  
Физика (научно-исследовательская деятельность)**

Минск 2015 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 01-2013; учебных планов №G31-163/уч. и №G31и-174/уч.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**К.Н. Каплевский** — доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета  
(протокол № 11 от 29 апреля 2015 г.);

Советом физического факультета  
(протокол № 10 от 18 июня 2015 г.)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины "Оптические спектры атомов" разработана для специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям) направления специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность).

*Целью учебной дисциплины* является создание фундаментальной базы знаний о природе атомных спектров.

*Основная задача учебной дисциплины* дать представление о разделах оптики, которые относятся к теории атомных спектров. Рассматриваются общие вопросы спектроскопии, являющиеся теоретической базой электронного строения атомов и молекул, а также изучаются закономерности в спектрах атомов с различной электронной конфигурацией и влияние внешних электрических и магнитных полей на оптические спектры атомов.

Атомная спектроскопия, позволяющая определить и идентифицировать уровни энергии атомов, а также охарактеризовать переходы между этими уровнями, является одним из наиболее надежных инструментов, с помощью которых можно провести элементный анализ вещества. Исследование атомных спектров остается важной задачей в разных областях научно-практической деятельности. По-прежнему знание спектров необходимо и физикам, занимающемуся строением атомов или свойствами газоразрядной плазмы; специалисту-практику, работающему в области применения спектрального анализа. Астрофизику, определяющему по спектру звезды или туманности, происходящие в них процессы. Химику знание спектров дает возможность проследить расположение внешних электронов в атомах и тем самым подвести физический фундамент под периодическую систему Менделеева. Со спектрами встречается и геофизик, наблюдающий свечение верхних слоев атмосферы и специалист в области квантовой электроники.

Материал курса строится таким образом, чтобы дополнять знания и представления, полученные студентами при изучении общего курса оптики, с использованием необходимого математического аппарата. При этом преследуется цель дать представление об отдельных вопросах, которые в последующем будут использоваться и развиваться в отдельных спецкурсах

В процессе изучения данного курса студенты познакомятся как с классической, так и с квантово-механической моделью строения атома, рассмотрят простейшие атомные системы и многоэлектронный атом. Ширине спектральных линий отводится целый раздел, подробно рассматривается вопрос о сверхтонкой структуре спектральных линий, а также поведение атомов во внешних полях.

*Материал курса основан* на знаниях и представлениях, заложенных в следующих дисциплинах: «Электромагнитная природа световых явлений», «Оптика».

*В результате изучения дисциплины студент должен:*

**знать:**

- теоретические основы атомной спектроскопии;
- сущность основных спектроскопических методов;

***уметь:***

— использовать математический аппарат для освоения теоретических основ и практического использования физических методов в области оптической спектроскопии.

***владеть:***

— знаниями теоретических основ спектроскопии, составляющих фундамент для самостоятельного синтеза идей и творческого самовыражения.

Программа курса составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта. Общее количество часов – 104 (3 зачетных единицы); аудиторное количество часов — 40. Аудиторные занятия проводятся в виде лекций и семинарских занятий. На проведение лекционных занятий отводится 32 часа, на семинарские — 8 часов.

Форма получения высшего образования — очная, дневная.

Занятия проводятся на 3-м курсе в 6-ом семестре.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине — экзамен.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Введение в атомную спектроскопию. Краткий исторический обзор развития спектроскопии. Момент количества движения - основная характеристика атома. Сложение моментов. Векторная модель.
2. Излучение атома. Излучение атома (классическая модель). Интенсивность излучения. Дипольное электрическое излучение.
3. Излучение атома (квантовая модель). Коэффициенты Эйнштейна. Спонтанное и вынужденное излучение. Вероятность перехода. Правила отбора. Поляризация излучения. Сила осциллятора. Среднее время жизни. Мультипольное излучение.
4. Ширина спектральной линии. Однородное и неоднородное уширение. Естественное уширение. Ударное уширение. Доплеровское уширение.
5. Простейшие атомные системы. Атом водорода. Спектр атома водорода. Тонкая структура спектра атома водорода. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура линий серии Бальмера. Атомы щелочных металлов. Спектральные серии. Экранировочная постоянная. Тонкая структура спектра щелочного металла.
6. Систематика спектров многоэлектронных атомов. Приближение центрально-симметричного поля. Электронная конфигурация. Приближение LS и jj-связи. Мультиплетная структура терма. Правило Хунда. Правила отбора. Правило интеркомбинационного запрета. Сравнение LS и jj-связи.
7. Спектры многоэлектронных атомов. Спектры атомов с одним внешним s-электроном. Спектр атома меди. Автоионизация. Спектры атомов с двумя внешними s-электроном. Спектр атома гелия. Спектры инертных газов.
8. Атомы во внешних полях. Эффект Зеемана. Простой эффект Зеемана. Сложный эффект Зеемана. Типы зеемановских расщеплений спектральных линий. Эффект Пашена-Бака. Эффект Зеемана в сильных полях.
9. Эффект Штарка. Эффект Штарка в общем случае. Эффект Штарка для атома водорода. Штарковское уширение спектральных линий.
10. Сверхтонкая структура спектральных линий. Магнитное и электростатическое взаимодействие ядерных моментов.
11. Моменты атомных ядер и сверхтонкая структура спектральных линий. Изотопическое смещение уровней энергии и спектральных линий. Вычисление магнитных моментов ядер по сверхтонкому расщеплению уровней.
12. Интерференция атомных состояний. Фазовые состояния атомных систем. Квантовые биения.

# УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	КСР		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение в атомную спектроскопию.	2						
2	Излучение атома (классическая и квантовая модели).	4						Устный опрос
3	Ширина спектральных линий.	2						
4	Простейшие атомные системы.	4						Тестирование
5	Систематика спектров многоэлектронных атомов.	4		2				
6	Спектры многоэлектронных атомов.	4		2				Устный опрос
7	Атомы во внешних полях.	6		2				Устный опрос
8	Сверхтонкая структура спектральных линий.	4		2				Контрольная работа
9	Интерференция атомных состояний.	2						
		<b>32</b>		<b>8</b>				<b>Экзамен</b>

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Перечень основной литературы**

1. Фриш С.Э. Оптические спектры атомов, Москва, 1963.
2. Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров, Москва, 1977.
3. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия, 2001.

### **Перечень дополнительной литературы**

1. Кондон Е., Шортли Г. Теория атомных спектров.
2. Бете Г., Солнтер Э. Квантовая механика атомов с одним и двумя электронами.

### **Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности**

1. Тестовые задания по разделам дисциплины.
2. Проведение контрольных работ.
3. Устные опросы.

### **Примерный перечень мероприятий для контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине**

### **Рекомендуемые разделы для составления тестовых заданий и контрольных работ**

1. Излучение атома (классическая и квантовая модели).
2. Ширина спектральной линии.
3. Простейшие атомные системы.
4. Систематика спектров многоэлектронных атомов.
5. Спектры многоэлектронных атомов.
6. Сверхтонкая структура спектральных линий
7. Атомы во внешних полях.
8. Интерференция атомных состояний.

### **Примерный перечень вопросов для тестов и контрольных работ**

1. Момент количества движения (МКД)
2. Сложение моментов количества движения. Векторная модель.
3. Излучение атома. Классическая модель.
4. Коэффициенты Эйнштейна. Спонтанное и вынужденное излучение.
5. Интенсивность спонтанного излучения. Правила отбора. Поляризация излучения.
6. Мультипольное излучение.
7. Среднее время жизни и сила осциллятора.

8. Ширина спектральной линии.
9. Атом водорода. Нерелятивистское приближение.
10. Электронное облако атома водорода.
11. Спектр атома водорода.
12. Тонкая структура уровней энергии и спектральных линий атома водорода.
13. LS-связь. Электростатическое взаимодействие.
14. LS-связь. Правила отбора. Интенсивность спектральных линий.
15. LS-связь. Мультиплетная структура терма.
16. Систематика уровней энергии в приближении jj-связи.
17. Реализация моделей LS и jj-связи.
18. Спектры элементов 1-ой группы таблицы Менделеева.
19. Спектры элементов 2-ой группы таблицы Менделеева.
20. Спектры атомов с р-валентными электронами.
21. Спектры инертных газов.
22. Сложный эффект Зеемана.
23. Эффект Пашена-Бака.
24. Эффект Штарка.
25. Моменты атомных ядер и сверхтонкая структура спектральных линий.
26. Изотопический сдвиг уровней.
27. Интерференция атомных состояний.

### **Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации**

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать тестовые задания или контрольные работы по разделам дисциплины, устные опросы. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Тестирование и контрольные работы проводятся в письменной форме. На их выполнение отводится 90 мин. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа разрешается использовать справочные и учебные издания. Оценка проводится по десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается по формуле:



$$текущая = 0,7 \cdot \left( \frac{контр + тест}{2} \right) + 0,1 \cdot \frac{\sum_i^n устн_i}{n} + ПБ - ШБ,$$

где *текущая* – это оценка текущей успеваемости, *контр* и *тест* – оценки по десятибалльной шкале за контрольную работу и тестирование соответственно, *устн<sub>i</sub>* – оценка по десятибалльной шкале за устный ответ, *n* – количество устных ответов; *ПБ* – поощрительные баллы, начисляемые за выполнение дополнительных (необязательных) заданий, активность на занятиях (максимум 2 балла за семестр), *ШБ* – штрафные баллы, которые начисляются за пропуски занятий, систематическое опоздание, нарушение учебной дисциплины.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена, к экзамену допускаются студенты, чья оценка текущей успеваемости не ниже 4 баллов. Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Итоговая оценка рассчитывается по формуле:

$$итог = 0,3 \cdot текущая + 0,7 \cdot экзамен$$

где *итог* – итоговая оценка, *текущая* – оценка текущей успеваемости, *экзамен* – экзаменационная оценка, 0,3 и 0,7 – весовые коэффициенты текущей успеваемости и экзаменационной оценки соответственно.

# **ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО**

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название Кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Оптика	Кафедра общей физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 12 от 18 июня 2014 г.)
Электромагнитная природа световых явлений	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 11 от 29 апреля 2015 г.)

[illegible]

\_\_\_\_\_ Е.С. Воропай

---

В.М. АНИЩИК